



DIELEKTROMOS NEDVESSÉGMÉRŐK KALIBRÁCIÓÁTVITELÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

Doktori értekezés tézisei

Készítette:

Gillay Zoltán

Konzulensek:

Dr. David B. Funk

Dr. Fekete András

**Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Kar
Fizika-Automatika Tanszék**

Budapest, 2010

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

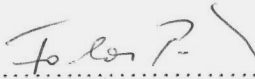
tudományága: Élelmiszertudományok

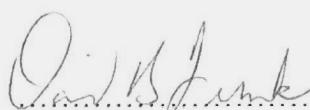
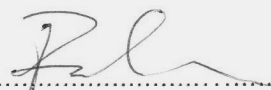
vezetője: Dr. Fodor Péter, DSc
egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem

Témavezetők: Dr. David B. Funk, PhD, DSc (hc)
Associate Director for Methods Development
USDA-GIPSA-Technical Services Division

Dr. Fekete András, DSc
egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem,
Élelmiszertudományi Kar,
Fizika-Automatika Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

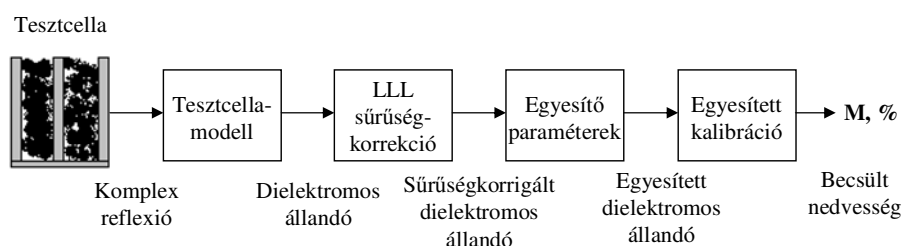

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

 
.....
A témavezetők jóváhagyása
(Signature of Supervisors)

1. Bevezetés

A gabona nedvességtartalma az egyik legfontosabb tényező a gabona árának meghatározásánál, ezért különösen is fontos ennek pontos és gyors mérése. A gabonanedvesség-mérés legnagyobb problémája, hogy a különböző típusú berendezések jelentősen eltérő eredményeket szolgáltatnak, nem egységesek, ami komoly problémát okoz a kereskedelemben. Ennek megoldására az Egyesült Államokban egy adott típusú berendezést szabványosítottak, amelynek egy etalon példánya az Egyesült Államok Gabonafelügyeleténél (USDA-GIPSA) található, és amelyhez a többi azonos típusú egységeket sztenderdizálják, amelyekkel a hivatalos nedvességtartalmat határozzák meg. Ennek a megoldásnak több hátránya van. Egyrészt nem oldja meg a mérések nemzetközi egységességét, másrészt a műszergyártók nem motiváltak a technika igen költséges továbbfejlesztésében. Ezért az USDA-GIPSA kifejlesztett egy új gabonanedvesség-mérési eljárást és kalibrációt, amely megbízhatóbb és pontosabb eredményt szolgáltat a jelenleg kapható nedvességmérő berendezéseknél. Ezt a módszert tervezik szabványosítani, és elősegíteni a világméretű elterjedését. Ennek érdekében a fejlesztési eredményeket és a kalibrációt nem szabadalmaztatták, hanem mindenki számára hozzáférhetővé tették, így bármelyik műszergyártó - kis műszerfejlesztési költséggel és úgynevezett kalibrációátvitellel - saját kompatibilis berendezést tervezhet és forgalmazhat.

Az új módszer több újdonsággal is rendelkezik. A legfőbb újdonság, hogy a mérőfrekvencia 149 MHz, ami magasabb az eddig a kereskedelmi forgalomban elterjedt berendezések által használt frekvenciáknál. Emiatt a tesztcella nem kapacitív, hanem egy TEM (transzverzális elektromágnes) módban működő tápvonal (2. ábra), amelyen a mérés reflexiós módban történik. A nedvességtartalom meghatározása több lépésben történik, amit az 1. ábra szemléltet.



1. ábra: A VHF-UGMA nedvesség meghatározásának menete

A gabona dielektromos állandója a tesztcella fizikai modelljének segítségével határozható meg a komplex reflexiós tényezőből. A dielektromos állandón a Landau-Lifshitz-Looyenga (LLL) keverékformulából levezetett sűrűségkorrekció csökkenti a tömörödöttség ingadozásából eredő hibát. Végezetül a 149 MHz-en mért sűrűségkorrigált dielektromos állandón egyszerű lineáris transzformációk azt eredményezik, hogy egyetlen kalibrációs összefüggés pontosabb eredményt ad minden gabonafajra, mint a jelenleg a kereskedelemben kapható gabonanedvesség-mérők.

A módszer szabványosíthatóságához szükséges, hogy független gyártók által gyártott, és kereskedelmi forgalomban lévő berendezések legyenek, amelyek ezen az elven és kalibrációval működnek, és az adott hibahatáron belül szolgáltatnak nedvességmérési eredményt a GIPSA-nál lévő mester tesztcellával. A gyártók különböző tesztcellákat, betöltési módszert és mérési megoldásokat szeretnének alkalmazni, hogy a piac különböző rétegeit tudják megcélozni. A kutatás kezdeti szakaszában csak egyetlen tesztcellát használtak, amelyet a dolgozatomban mester tesztcellának nevezek. Ennek mérete túl nagy volt ahhoz, hogy ez alapján lehessen a kereskedelembe kapható, és a gyakorlati igényeket kielégítő berendezést tervezni. Ezért a kutatás során fel kellett tárni, hogy milyen módosításokat lehet alkalmazni a tesztcellán úgy, hogy az eredeti kalibrációt lehessen alkalmazni, és az eredmény adott hibahatáron belül legyen. Továbbá módszert kellett kidolgozni, hogy az amerikai jogszabályoknak megfelelően lehessen a mérőberendezéseket a mindenkori mester berendezéshez sztenderdizálni.

2. Célkitűzések és feladatok

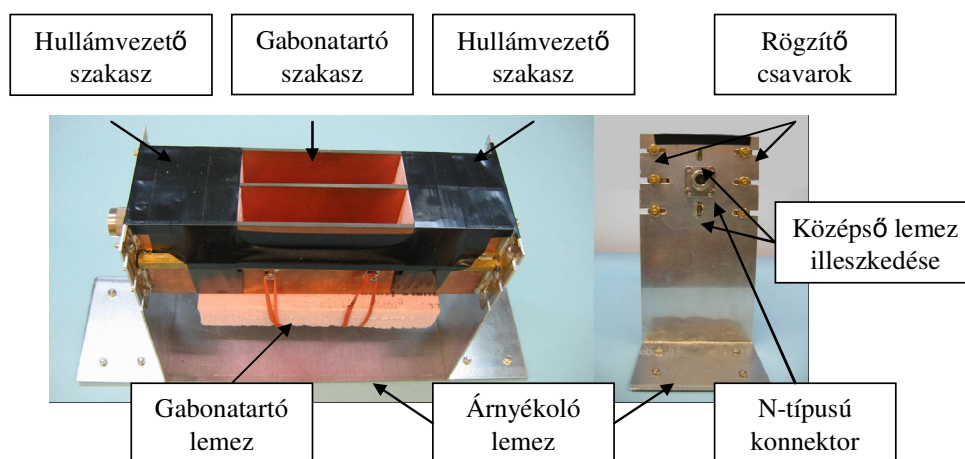
A PhD kutatásom a dielektromos gabonanedvesség-mérés, ezen belül is a sztenderdizációt befolyásoló tényezők hatásainak kutatása volt. A kutatás kiterjedt arra, hogy milyen alternatív mérési lehetőségek vannak, amelyek előnyösebbek az eredeti mérési módszernél. A feladatok részletezve:

1. Meghatározni a lehetséges tesztcella-konstrukciókat és mérési módokat, amelyeken a VHF-UGMA módszer alkalmazható. Meghatározni ezek előnyeit és hátrányait. Ezen belül kiemelten fontos megállapítani annak a lehetőségét, hogy a nedvesség meghatározásához elegendő-e csak a reflexiók tényező nagyságának mérése.
2. A tesztcella modellezés továbbfejlesztése, hogy a modell kis változtatásokkal alkalmas legyen:
 - változatos felépítésű tesztcellák matematikai leírására
 - a geometriai és az elektromos paraméterek hatásának kutatására és optimalizálására.
3. Megfelelő kalibrációs és sztenderdizációs anyagok alkalmazása, és sztenderdizációs módszerek kidolgozása. Ezen belül kiemelten fontos megállapítani, hogy a kis veszteségi tényezőjű anyagok alkalmasak-e a sztenderdizációhoz.
4. Feltárni a különböző - gyakorlati szempontból fontos - betöltési módszerek hatását
 - Meghatározni, hogy melyik betöltés a legalkalmasabb a variabilitás szempontjából.
 - Meghatározni, hogy van-e eltérés a mért nedvességekben különböző betöltésekkel.
 - Ha van eltérés, akkor megállapítani, hogy mi okozza, és milyen sűrűségkorrekcióval lehet megszüntetni az eltéréseket.
5. Meghatározni a betöltési módok és a tesztcella méretének hatását a kalibráció átvihetőségére, és ha arra szükség van, akkor megoldani a kalibráció átvitelét.

3. Anyagok és módszerek

3.1 A tesztcella és a mérési elrendezések

A kutatásainkhoz rendelkezésünkre állt az eredeti tesztcella (mester tesztcella), amin a módszert és a kalibrációt kifejlesztették, továbbá az összehasonlító vizsgálatokhoz építettünk egy prototípus tesztcellát, ami 2. ábrán látható. A prototípus tesztcella felépítésében azonos a mester tesztcellával, de jóval kisebb és egyszerűbb felépítésű.



2. ábra A kalibrációátvitel vizsgálatához használt prototípus tesztcella

A prototípus tesztcella a mester tesztcellához hasonlóan három párhuzamos lemezből áll. Ezekhez 3,1 mm vastag nyomtatott áramköri lemezt használtunk, mert mechanikailag kellően stabil és forrasztható. A cella két véglemeze alumínium, ezeken találhatók az N-típusú csatlakozók és a párhuzamos lemezek rögzítése. A két külső lemezek pozíciója csavarok segítségével állítható. A középső lemeztől a végeinél eltávolítottuk a réz burkolatot, és a nyáklemez üvegszálak belső része, ami elektromosan szigetelő, a véglemezek réseibe illeszkedik. A középső lemez közepén a konnektor középső elektródájához van forrasztva. A cella alatt elhelyezkedő árnyékoló lemez 10 cm-re van a cella aljától. A hullámvezető szakaszban polisztirol anyag található, amely elsősorban a gabonát határolja, másrészt a cella mechanikai stabilitását növeli. A cella alján ugyancsak polisztirol lemez tartja a gabonát a gabonatartó szakaszban. A tesztcellákat 50 Ω -os precíziós koaxiális kábel köti össze a mérőműszerrel. A cella végére a záróimpedancia helyezhető, ami alap esetben ún. illesztett precíziós lezárás 50+0j Ω ellenállással. Ezenkívül lehetséges az ún. rövidzár és nyitott lezárás is.

A gabona betöltése mindig úgy történt, hogy a gabonamintát a cellába túltöltöttük, és a felesleget egy erre a feladatra gyártott szabványos rúddal lehúztuk. A gabona komplex reflexiók tényezőjének mérése 1-501 MHz-es frekvenciatartományban történt 2 MHz-enként. Minden mintának a hőmérsékletét és a tömegét is mértük. A betöltés hatásának vizsgálatához tölcsejt, kézi betöltést és ejtő mechanizmust alkalmaztunk.

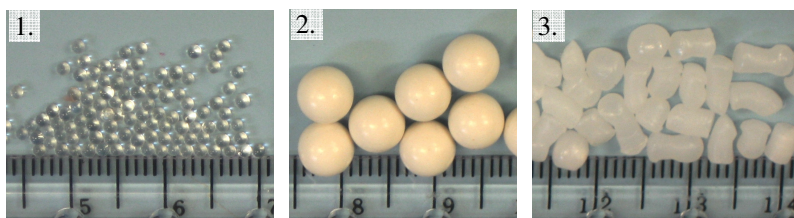
3.2 Anyagok

A kalibrációhoz használt alkoholok

A tesztcellák dielektromos kalibrációjához alkoholokat használtunk: decanolt, hexanolt és pentanolt. Ezek permittivitás értékei a gabonák permittivitás tartományába esnek, nem különösen mérgezők, és egy használat során feltehetőleg nem vesznek fel számottevő mennyiségű vizet. A hátrányuk, hogy a tesztcellát szigetelni kellett. Az alkoholok permittivitását az általunk mért frekvencia tartományban a Debye modellből határoztuk meg irodalmi adatok alapján.

A sztenderdizációhoz használt anyagok

A sztenderdizációt a kalibrációtól azért különböztetjük meg, mert a fő cél nem a referencia módszerrel való egyezés, hanem a mester tesztcellával való egyezés, ezért nem fontos ismerni az sztenderdizációs anyag permittivitását csak a mester tesztcella által mért értéket. Az alkoholok a mindennapi gyakorlatban nem alkalmasak a tesztcellák sztenderdizálásához. A vizsgálatunkban 8 fajból összesen 328 gabonaminta mérési eredményét használtuk. A gabona használatának hátránya, hogy nem stabil, mert vesz a nedvességéből, és hosszabb idő alatt megromlik. Ezért kerestünk és vizsgáltunk olyan szervesetlen granulált anyagokat, amelyek időben nem változnak, könnyen beszerezhetők, a gyártási reprodukálásuk kedvező, mechanikailag és kémiailag tartósak, nem nedvszívók és permittivitásuk a gabonáéhoz közel áll. Kutatásaink során három alkalmas sztenderdizációs anyagot találtunk, ezek a 3. ábrán láthatók:



3. ábra Szervesetlen szilárd sztenderdizációs anyagok

1. "Lead free soda lime glass grinding beads 1,2 mm" magyarul ólommentes üveggolyó, amit daráláshoz használnak, átmérője 1,2 mm, továbbiakban üveggolyók. 2. "SoftAir by Crosman", magyarul a légfegyverekben használt műanyag töltények 6mm átmérővel, gyártója Crosman, továbbiakban amo. 3. "Stuffing plastic pellets", magyarul csomagoláshoz használható műanyag szemcsék, a továbbiakban műanyag szemcsék.

A betöltések hatásának vizsgálatához használt gabonaminták

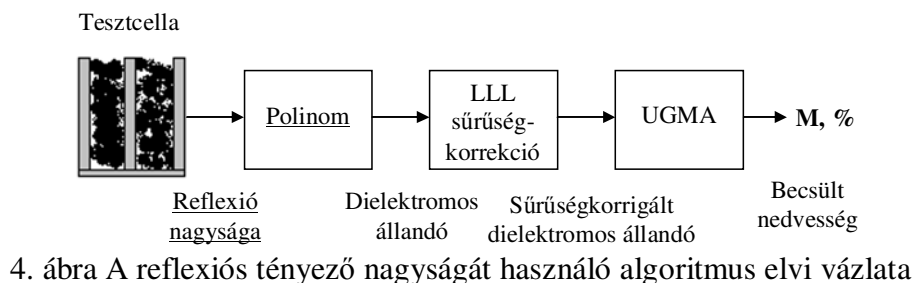
A méréseink során hét Magyarországon termesztett gabonafajt (árpa, búza, kukorica, napraforgó, repce, szója és zabot) használtunk 20-szoros ismétléssel mind a tölcséres, kézi és automatikus esetben. A méréseket száraz és nedvesített mintákon is elvégeztük, hogy képet kapjunk a hatások nedvességfüggéséről.

4. Eredmények és következtetések

4.1 Mérési módok

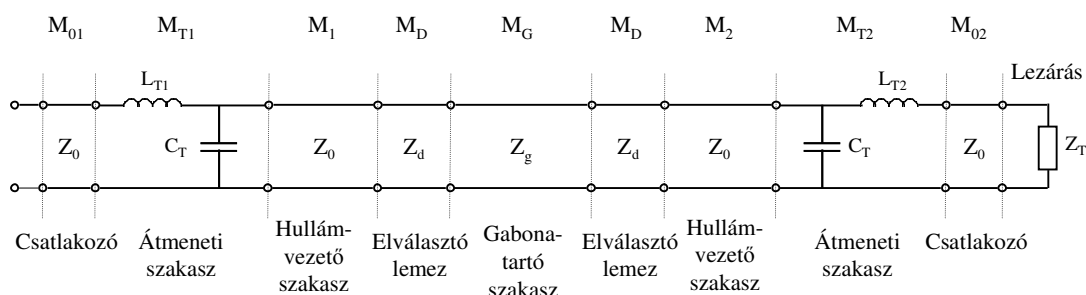
A rövidzár üzemmód - amely mechanikailag stabilabb és egyszerűbben kivitelezhető, mint az eredeti illesztett $50\ \Omega$ -os lezárás - vizsgálata azt mutatta, hogy a rövidzár üzemmódban a mérés érzékenysége megfelelően megválasztott hullámvezető szakasz hossz esetén alkalmas lehet a gabonanedvesség mérésére.

Az eredeti algoritmusban a komplex reflexiós tényezőtől a tesztcella modelljének segítségével számítható a nedvességszámítás alapjául szolgáló dielektromos állandó (1. ábra). A csak a reflexiós tényező nagyságából egy 5-öd fokú polinom segítségével kapott dielektromos állandó alapján meghatározott nedvesség azonosan pontos eredményt szolgáltatott, abban az esetben, ha a VHF-UGMA kalibráció paramétereit az így kapott dielektromos állandó alapján határoztuk meg (4. ábra).



4.2 Tesztcella modellezés

A tesztcella modellezésének továbbfejlesztése fontos feladat volt a kutatásunk során. A modellezés során elsők között alkalmaztuk ilyen nagyméretű, nyitott cella modellezésére az ABCD paraméteres megközelítést. A módszer lényege, hogy a tesztcella egyes szakaszainak egy-egy mátrix felel meg. Ezen mátrixok összeszorozhatók, és megfelelő konverzió után megkapható a komplex reflexiós tényező. A permittivitás iterációval lehet megkapni.



A modellben lévő paramétereknek van fizikai megfelelőjük, ezért egyszerű hossz-mérésekkel és véges elemes módszerekkel meghatározhatók. Ez alól kivételek az ún. átmeneti szakasz paramétereit, amelyeket csak kalibráció segítségével tudunk meghatározni. Az ABCD modell hatékonyságát alkohollal kalibrációs méréssel vizsgáltuk. A mérési eredményekre az ABCD modellt és az eredeti

jelfolyamábrás modellt optimalizáltuk. Az ABCD modell esetében az illesztési paraméterek az átmeneti szakasz (Z_{T1} , Z_{T2} , Y_T) és az ürescella-korrektúra (Corr) paraméter volt, míg az eredetileg használt jelfolyamábrás modell esetén az első hullámvezető szakasz hossza (d_1) és a kitöltési korrekció paraméterei (ϵ_m , Corr) voltak. Az eredményekből azt mutatták, hogy az ABCD mátrixos megközelítéssel kis mértékben jobb illeszkedést kaptunk a dielektromos állandó esetén, de a veszteségi tényező esetében nem. Az új modell legnagyobb előnye, hogy lehetőséget ad arra, hogy az egyes tesztcella paraméterek hatását elméleti úton lehessen vizsgálni.

4.3 Tesztcella sztenderdizáció

A lehetséges sztenderdizációs módszerek vizsgálata során három módszert hasonlítottunk össze. Nagyszámú gabonaminta 149 MHz-en mért dielektromos állandója alapján, három gabonaminta több frekvencián mérve és három kis veszteségi tényezőjű szervesetlen minta több frekvencián mérve. A három gabonaminta kiválasztását véletlenszerűen 114-szer megismételtük. Az adott módszer hatékonyságának jellemzésére a 50-250 MHz közötti permittivitások valós és képzetes részeinek a RMSE értékét, és a nedvességmérési eredmények eltérésének átlagát és az RMSE értékét használtuk. Az eredmények az 1. táblázatban láthatók:

1. táblázat A sztenderdizációs eljárások eredményeinek összefoglalása

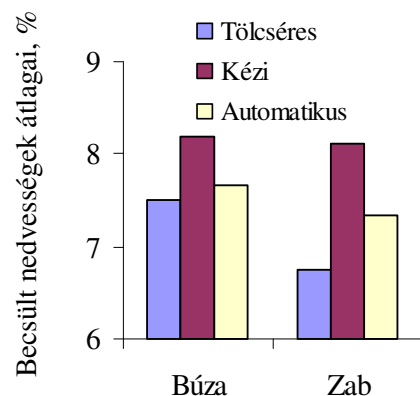
	Gabona (55db) Egy frekvencia	Gabona Több frekvencia.	Szervesetlen anyagok
RMSE (Valós rész összes mintára)	0,0158	0,0132	0,0158
RMSE (Képzetes rész összes mintára)	0,0323	0,0447	0,042
BIAS (Nedvességtartalom), %	0	0,031	0.03
RMSE (Nedvességtartalom) , %	0,048	0,064	0,061

Az eredményekből látható, hogy a kis veszteségi tényezőjű anyagokkal végzett sztenderdizáció hasonlóan hatékonyak adódtak, mint a gabonával végzett sztenderdizációk.

4.4 Betöltés hatása a gabonanedvesség-mérésére

A betöltések hatásának vizsgálatánál a gyakorlati szempontból fontos tölcéses, kézi és automatikus betöltést hasonlítottuk össze, annak érdekében, hogy megállapítsuk melyik eredményezi a legkisebb szórást a mért tömegre és nedvességre. Másik fontos kérdés volt, hogy megállapítsuk a becsült nedvességmérési eredmények különbségét. A tömegmérés eredményeinek szórása kézi betöltés esetén egyes gabonafajoknál mutatott jelentős eltérést, de a nedvesség esetén ez már nem volt jelentős a sűrűségkorrekció miatt. A nedvességmérési eredmények átlagai viszont meglepően nagy eltéréseket mutattak (6. ábra). Több gabonafaj esetén gyakorlati szempontból jelentős különbség adódott, különösen árpa, búza és zab esetében. Megfigyelhető volt, hogy a kézi betöltés esetén adódtak a legnagyobb nedvességmérési eredmények, míg az automatikus betöltés esetén a búza és a

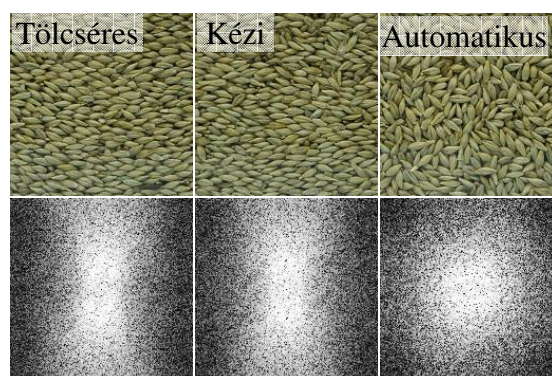
zab esetében a tölcséresnél nagyobb, míg a többi gabonára közel azonos nagyságú eredmény adódott. A nedvesség mérési eltérések a nedvességtartalommal növekedtek. A lehetséges okokat megvizsgálva az eredmények azt mutatták, hogy a nedvességkülönbség a tömegkülönbséggel nem korrelált, viszont a szemek formatényezőjével jól korrelált. A hántolt és hántolatlan rizs mérési eredményei azt mutatták, hogy a gabonaszemek héja nem játszik jelentős szerepet a nedvességkülönbségben.



6. ábra Becsült nedvességátlagok

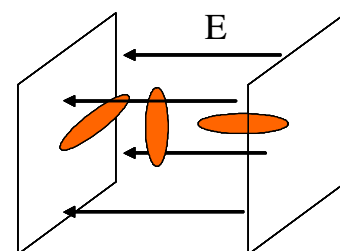
4.5 A gabonaszemek térbeli orientációjának hatása

A nedvességkülönbség okának keresése során nyilvánvalóvá vált, hogy az ok a gabonaszemek valamiféle orientációs különbsége, ami a különböző betöltések hatására jön létre. Ezért részletesen vizsgáltuk a gabonaszemek elhelyezkedését a tesztcellában. Fényképeket készítettünk felülnézetből és egy átlátszó doboz segítségével oldalnézetből.



7. ábra Oldalnézeti képek átlátszó dobozban és ezek 2D Fourier transzformáltjai

Oldalnézetből egyértelműen látható volt, hogy a szemek elhelyezkedése nem véletlenszerű, hanem bizonyos rendeződés alakult ki. Ahogy a 7. ábrán látható tölcséres és kézi betöltés hatására a szemek vízszintesen, míg automatikus esetben rendezetlenül helyezkednek el. Felülnézetben a gabonaszemek orientációja nem volt egyértelműen megfigyelhető, ezért kidolgoztunk egy módszert, aminek segítségével a szemek rendeződését ki tudtuk mutatni. A módszer lényege, hogy a 2-dimenziós Fourier transzformált képeken látható fehér pontfelhő alakja (7. ábra) jellemző a szemek rendeződésének irányára és mértékére. A felülnézeti eredmények azt mutatták, hogy tölcséres esetben a lemezekkel párhuzamos, kézi betöltés esetén merőleges rendeződési tendenciák voltak, míg automatikus esetben a szemek elhelyezkedése rendezetlen volt.

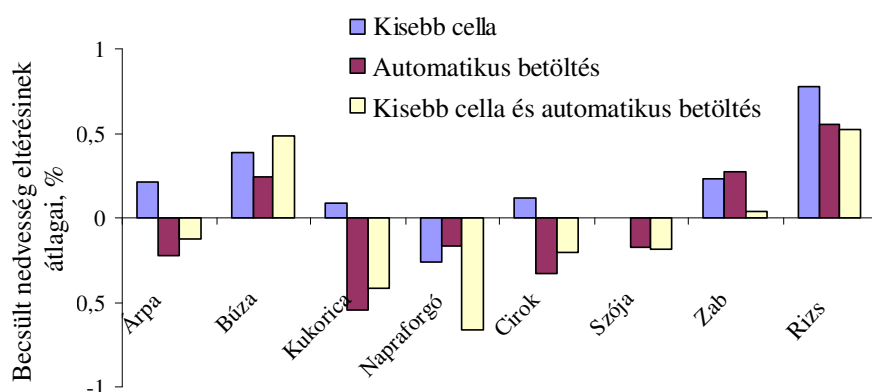


8. ábra Gabonaszemek fő irányai

Ismert, hogy az ellipszoidok a fő tengely irányában csökkentik legjobban a teret, ami azt jelenti, hogy ebben az irányban mutatják a legnagyobb dielektromos állandót (8. ábra). Ezen megfigyelés alapján magyaráztuk a megfigyelt nedvességmérési eltéréseket.

4.6 A nedvességmérési kalibráció átvitele

A kutatásunk fő célja az volt, hogy meghatározzuk, az egyes tényezők hatását a gabonanedvességmérésre és ezen keresztül a kalibrációátvitelre. Ezek között is a legfontosabb kérdés az volt, hogy a tesztcella mérete és a betöltés módja hogyan befolyásolja a mérést, és hogyan lehet ezt a hatást korrigálni. Ennek a kérdésnek a megválaszolásához közel 328 gabonaminta mérési eredményét használtuk fel. A minták mérése a mester tesztcellán és a prototípus tesztcellán tölcséres és automatikus betöltéssel történt. A tesztcellák dielektromos sztenderdizációját szójamintákkal végeztük. Az eredmények azt mutatták, hogy a tesztcella méretének és a betöltés módjának megváltoztatása gabonafajonként eltérő nedvességmérési hibákat okoz. A hibák átlagos értékei a 9. ábrán láthatók.



9. ábra Nedvességmérési eredmények eltérésének átlagai

A VHF-UGMA algoritmus több szintjén van lehetőség arra, hogy gabonafaj-függő kalibrációátviteli paramétereket vezessünk be. Ez egyik lehetőség, amely sikeresnek adódott, hogy a sűrűségkorrekcióban a céltömeget gabonafajokként optimalizáltuk, hogy az adott gabonafaj nedvességmérési eltérése a mester/tölcséres méréshez képest minimális legyen. Ez azért érdekes, mert csak egy paramétert változtattunk. A másik kézenfekvő lehetőség, hogy lineáris korrekciót alkalmazzunk, amelynek két paramétere van. Az eredmények azt mutatták, hogy a céltömeg alkalmas megválasztása gabonafajonként közel azonos eredmény adott, mint a kétparaméteres lineáris korrekció.

A korrekciós tényezők meghatározásához számos gabonaminta mérésére van szükség gabonafajokként, ezért vizsgáltuk, hogy lehetséges-e a gabona fizikai és kémiai paramétereiből becsülni a korrekciós tényezőt. Számolásaink azt mutatták, hogy semelyik általunk vizsgált jellemzővel sincs jelentős korreláció. Továbbá többváltozós modelleket is kifejlesztettünk, annak érdekében, hogy az optimális céltömeg becsülhető legyen a gabona kémiai és fizikai tulajdonságaiból. Az eljárás már három változó esetén sikeres volt, a kereszt validáció is meggyőző volt, viszont az eredmények nem voltak egységesek és tudományosan magyarázhatók.

5. Új tudományos eredmények

Konfigurációk

1. Visszanedvesített búzaminta sorozattal bizonyítottam, hogy a rövidzár üzemmód előnyös alternatívája az illesztett lezárással történő mérésnek, mert a nedvességtartalom változásának hatására közel azonos mértékben változik a komplex reflexiós tényező. A nedvességtartalomra való érzékenység nő a rövidzárlemez gabonatarató szakasztól vett távolságának növelésével, amit 10 cm-ig igazoltam. A 10 cm-es távolság esetén a reflexiós tényező nagyságának érzékenysége közel azonos, míg a fázis négyszer érzékenyebb, mint az illesztett esetben.
2. Bizonyítottam, hogy a 149 MHz-es mérőfrekvenciától csak kb. ± 30 MHz-el lehet eltérni, úgy hogy a dielektromos állandón elegendő legyen a lineáris transzformáció, és hogy az eredeti frekvencián történő méréssel adott hibahatáron belüli legyen a nedvességmérési eredmény. A permittivitás mérésének felső határa a transzverzális-elektromágneses módú modellezéssel kb. 300 MHz, elméleti felső korlátnak 1,5 GHz adódott.
3. Bizonyítottam, hogy csak a reflexiós tényező nagysága elegendő a gabona nedvességtartalmának mérésére a következő módon: A reflexiós tényező nagyságából 5-öd fokú polinom szükséges a dielektromos állandó becsléséhez. Az így kapott dielektromos állandóból az eredeti VHF-UGMA algoritmussal számolt nedvességmérési eredmény nem egyezett megfelelő mértékben az eredeti módszer által adott értékekkel. Viszont a VHF-UGMA nedvességmérési algoritmus paramétereinek újraoptimalizálásával a csak a reflexiós tényezőt alkalmazó mérési mód azonos RMSE értéket ad a komplex reflexiós tényezőn alapuló mérési móddal.

Modell

4. ABCD mátrix reprezentációt elsőként alkalmaztam sikeresen nagy méretű, nyitott tesztcellákra. Az általam felépített modellben figyelembe vehető a tesztcella mérete, karakterisztikus impedanciája és a záróimpedancia nagysága, amely lehetőséget teremt különböző méretű és mérési módban működő tesztcellák modellezésére, továbbá a tesztcella paramétereinek elméleti vizsgálata optimalizálás céljából. A kalibráció során illesztő paraméterként az átmeneti szakasz impedanciáinak és az ürescella-korrekciónak optimalizálásával kis mértékben jobb egyezést kaptam, mint az eredetileg alkalmazott jelfolyamábrás modellel.

Sztenderdizáció

5. A közel nulla veszteségi tényezőjű anyagok alkalmasak lehetnek a tesztcellák sztenderdizációjára. Az általunk alkalmazott három szervesetlen anyaggal, 1, 89, 127 és 165 MHz-en mért komplex permittivitások használatával sztenderdizált cellával kapott nedvességmérési eredmények megfeleltek a National Institute of Standards and Technology által előírt értékeknek.

Betöltések hatása

6.a A vizsgált betöltések (tölcséres, kézi és automatikus) alkalmazásával a VHF-UGMA nedvességmérési eredmények nem mutattak gyakorlati szempontból jelentős szórásbeli eltérést. Az LLL sűrűségkorrekció csak a kézi betöltés esetén volt valamelyest hatékony, de a tölcséres és automatikus betöltés alkalmazása esetén a szórásokat több esetben szignifikánsan rontotta. Ennek az oka, hogy a nedvességmérés szórása nem csak a halmazsűrűség, hanem a gabonaszemek orientációjának mértékének és irányának változása miatt van.

6.b Bizonyítottam, hogy különböző betöltésekkel a nedvességmérési eredmények nagymértékben eltértek. A 20% nedvességtartalmú zabminta 3,5 %-os nedvességeltérést mutatott. A nedvességmérési eredmények eltérése, nem a sűrűségkülönbségből, hanem a gabonaszemek orientációjának különbségéből adódik. Az LLL sűrűségkorrekció és más sűrűségkorrekció sem lehet alkalmas a gyakorlatban arra, hogy az orientáció változásából eredő hibát kiküszöbölje, mivel az orientáció mértéke és iránya egy adott mérésnél a teljes térfogatra nem mérhető praktikus módon.

6.c Bizonyítottam, hogy a vizsgált betöltések közti nedvességmérési eredmények különbsége nedvességtartalom-függő. A szemek héja nem gyakorolt az eltérésre bizonyítható hatást. A dielektromos állandó eltérése nem frekvenciafüggő az 1-250 MHz-es frekvenciatartományban.

Térbeli orientáció

7. 2D Fourier transzformált képek analízisével bizonyítottam, hogy a különböző betöltések különböző térbeli orientációs tendenciákat eredményeznek.

- A tölcséres betöltéssel a gabonaszemek a cella hosszanti falával párhuzamos,
- kézi betöltéssel, ami oldalról történik, a gabonaszemek a cella hosszanti falára merőleges,
- automatikus betöltés esetén rendezetlen térbeli orientációs tendenciát mutatnak.

Kalibrációátvitel

8. Bizonyítottam, hogy a nedvességmérési kalibráció átvitele más geometriájú tesztcellára, vagy más betöltési módra - még nagyon jó hatékonyságú sztenderdizáció után - sem lehetséges gabonafaj-függő korrekciók nélkül. A (két paraméteres) lineáris gabonafaj-függő korrekció tökéletesen megfelelő a kalibrációátvitel megvalósítására. A korrekció egyetlen paraméterrel is lehetséges: a LLL sűrűségkorrekcióban célsűrűség fazonkénti megfelelő megválasztásával gyakorlati szempontból megfelelő hatékonyságú kalibrációátvitelt valósíthatunk meg.

6. A doktori értekezés témakörében megjelent publikációk

Impakt faktoros folyóiratcikk

1. Funk D. B., Gillay Z. (2010) Dielectric reference materials for mathematically modeling and standardizing grain moisture meters. Transactions of the ASABE, 53(1), pp. 271-281. IF: 1,042.
2. Funk D. B., Gillay Z., Mészáros P. (2007) Unified moisture algorithm for improved RF dielectric grain moisture measurement. Measurement Science and Technology, 18(4), pp. 1004-1015. IF: 1,297.

Nemzetközi konferencia (Teljes)

1. Funk D. B., Gillay Z. (2009) Dielectric Reference Materials for Mathematically Modeling and Standardizing Grain Moisture Meters. ASAE Annual Meeting, Reno, Nevada, Paper No. 096651. <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=27085&t=1>
2. Funk D. B., Gillay Z. (2009) Strategies for Modeling Dielectric Materials and Dielectric Test Cells. ISEMA, Helsinki, Finland, pp. 23-46.
3. Gillay Z., Funk D. B. (2007) Effects of Test Cell Size and Loading Method on Calibration Transfer. ISEMA, Hamamatsu, Japan, pp. 227-234.
4. Gillay Z., Funk D. B. 2006. Adapting the Unified Grain Moisture Algorithm to Commercial Instruments. IMTC 2006 – Instrumentation and Measurement Technology Conference, Sorrento, Italy, pp. 317-322.
5. Gillay Z., Funk D. B. (2005) Analysis of Frequency Sensitivity of the Unified Grain Moisture Algorithm. ASAE Annual Meeting, Tampa, Florida, Paper No. 053047. <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=19068&t=1>
6. Gillay Z., Funk D. B. (2005) Calibration Transfer for the Unified Grain Moisture Algorithm. ISEMA, Weimar, Germany, pp. 473-480.
7. Funk D. B., Gillay Z., Rampton J. H., Freese L. D., Mészáros P. (2004) New Dielectric Moisture Measurement Technologies. International Quality Grains Conference, Indianapolis, Indiana. Paper on CD.
8. Gillay Z., Funk D. B., (2003) Sensitivity Analysis for VHF Dielectric Grain Moisture Measurements. ASAE Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, Paper No. 033136. <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=14073&t=1>

Magyar nyelvű konferencia (Teljes)

1. Hartyáni P., Gillay Z., Funk D. B. (2006) A betöltési módszerek hatása az új VHF gabonanedvesség-mérés hibájára. MTA AMB, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, pp. 155-159.
2. Gillay Z., Funk D. B. (2004) A cella geometria hatása a nedvességmérés hibájára. MTA AMB, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, pp. 154-158.
3. Gillay Z., Funk D. B. (2003) Gabonanedvesség-mérő cellájának matematikai modellezése opimalizálás céljából. MTA AMB, Kutatási és Fejlesztési tanácskozás, Gödöllő, pp. 97-100.

Magyar nyelvű konferencia (Összefoglaló)

1. Gillay Z., Funk D. B. (2005) Az egyesített gabonanedvesség-mérő módszer (UGMA) kalibrációjának átvihetősége. Lippay János - Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest, pp. 258-259.
2. Gillay Z., Funk D. B. (2003) Tesztcella tervezés magasfrekvenciájú gabonanedvesség-méréshez. 5. Magyar Szárítási Szimpózium, Szeged, pp. 14-15.
3. Gillay Z., Funk D. B. (2003) Rádiófrekvenciás dielektromos gabonanedvesség-mérő matematikai modellezése. Lippay János - Ormos Imre – Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest, pp. 228-229.

Hivatkozások

Funk D. B., Gillay Z., Mészáros P. (2007) Unified moisture algorithm for improved RF dielectric grain moisture measurement. *Measurement Science and Technology*, 18(4), pp. 1004-1015.)

Idézik:

1. Cataldo A., Cannazza G., De Benedetto E., Tarricone L., Cipressa M. (2009) Metrological assessment of TDR performance for moisture evaluation in granular materials. *Measurement*, 42(2) pp. 254-263.
2. Cataldo A., Vallone M., Tarricone L., Cannazza G., Cipressa M. (2009) TDR Moisture Estimation for Granular Materials: An Application in Agro-Food Industrial Monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58(8) 2597-2605.
3. Kaatze U. (2008) Perspectives in dielectric measurement techniques for liquids. *Measurement Science and Technology*, 19(11) pp. 1-4.
4. Reyes R., Castro-Giráldez M., Fito P., Reyes E. (2007) Application of Microwaves for On-Line Quality Assessment. *Advances in Food Diagnostics*, Blackwell Publishing, 49-79.

Gillay Z., Funk D. B. (2003) Sensitivity Analysis for VHF Dielectric Grain Moisture Measurements, ASAE Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, Paper No. 033136.)
<http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=14073&t=1>

Idézik

1. Benning R., Birrell S., Geiger D. (2004) Development of a Multi-Frequency Dielectric Sensing System for Real-Time Forage Moisture Measurement. ASAE Annual Meeting, Paper No. 041100. <http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=18474&t=1>

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretném megköszönni:

- dr. David Funk professzor úrnak a folyamatos több éven át tartó önzetlen segítséget,
- dr. Fekete András professzor úrnak a tanácsait és vezetését,
- az Oktatási Minisztériumnak a Deák Ferenc ösztöndíjat,
- a tanszék minden dolgozójának a támogatást,
- és családomnak a türelmet.